

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ქეთევან მჭედლიძე

საქართველოში სითბოს და ელექტროენერგიის გამომუშავების
კოგენერაციული მეთოდების გამოკვლევა თანამედროვე
მაღალეფექტური ენერგოდანადგარების ბაზაზე

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2013 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის
თბო- და ჰიდროენერგეტიკის დეპარტამენტის
თბოენერგეტიკული დანადგარების სასწავლო-სამეცნიერო მიმართუ-
ლებაზე.

სამეცნიერო ხელმძღვანელი:

ტ.მ.დ., სრული პროფესორი **გურამ ჩიტაშვილი**

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება ----- წლის "-----" -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----

----- ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს

კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა – სტუ-ს ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,

ტ.მ.დ., სრული პროფესორი

გრიგოლ ხელიძე

თემის აქტუალობა. კოგენერაცია თბოელექტრომომარაგების უმაღლესი ფორმაა. მსოფლიოში დიდი ყურადღება ეთმობა ელექტრული და თბური ენერგიების კომბინირებული გამომუშავების (კოგენერაციის) სისტემების განვითარებას. ამჟამად კოგენერაცია ვითარდება ძირითადად აირტურბინული და ორთქლაირული ტექნოლოგიების ბაზაზე. ატდ-ები და ოატდ-ები ხასიათდება მაღალი თბური ეკონომიურობით, მინიმალური კუთრი ღირებულებით, კარგი ეკოლოგიური თვისებებით, კაპიტალდაბანდებების სწრაფი გამოსყიდვით, კოგენერაციაში გამოყენების ეფექტურობით და სხვ.

დიდი მნიშვნელობა აქვს კოგენერაციის მეშვეობით მიღებული ეკონომიკური მოგების სამართლიან განაწილებას გამომუშავებულ სითბოსა და ელექტროენერგიას შორის. ამჟამად განვითარებულ ქვეყნებში იყენებენ განაწილების ახალ, ე.წ. პროპორციულ მეთოდს, რომელიც მიჩნეულია ყველაზე სამართლიანად. ვთვლით, რომ საქართველოს მომავალ კოგენერაციულ სადგურებშიც გამოყენებულ უნდა იქნეს ეს პროპორციული მეთოდი.

კოგენერაციის განვითარების აუცილებელი პირობებია: უნდა იზრდებოდეს მოთხოვნა სითბოსა და ელექტროენერგიაზე ან უნდა არსებობდეს ინვესტირების შესაძლებლობები, რომ მოხდეს არსებული სიმძლავრეების შეცვლა და მოძველებული ენერგოდანადგარების რეკონსტრუქცია.

სამუშაოს მიზანი. დასაბუთდეს საქართველოს დიდ და საშუალო ქალაქებში კოგენერაციული სისტემების შექმნის აუცილებლობა, სხვადასხვა ტიპის ენერგოდანადგარების გამოყენების ბაზაზე, განისაზღვროს მათი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები, რაც საფუძვლად დაედება საქართველოში კოგენერაციის განვითარებას.

სამუშაოს ძირითადი ამოცანები.

- გარდაბანში მოქმედი აირტურბინული დანადგარების ატ-თეცად რეკონსტრუქციის ეფექტურობის გამოკვლევა.
- კოგენერაციული სისტემების თეცებში უმარტივესი და რთული სქემების აირტურბინული დანადგარების გამოყენების ეფექტურობის ანალიზი.

- ქ. თბილისში გლდანის რაიონში ადრე მოქმედი №44 საქვების აირტურბინულ თეცად რეკონსტრუქციის ეფექტურობის დადგენა.
- მცირე სიმძლავრის A-41 ტიპის დიზელის მაგალითზე ნარჩენი სითბოს უტილიზაციის შესაძლებლობის ანალიზი და ეფექტურობის დადგენა.
- ქვაბ-უტილიზატორიან ორთქლაირულ თეცების ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების გაანგარიშების მეთოდის შედგენა და მათი განსაზღვრა.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტებია სხვადასხვა ტიპის კოგენერაციული სისტემები, ქ.თბილისში ადრე არსებული №44 საქვებზე, გარდაბნის აირტურბინული თბოელექტროსადგური, მცირე სიმძლავრის დიზელ-დანადგარი.

კვლევის მეთოდებია: თბოენერგეტიკული დანადგარების ენერგოეფექტურობის გამოკვლევის არსებული მეთოდები, კოგენერაციული სადგურების ეფექტურობის ანალიზის ფიზიკური და პროპორციული მეთოდები, თეცების ტექნიკურ-ეკონომიკური ანალიზი.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე. დამუშავებულია აირტურბინული და ორთქლაირული თეცების ენერგოეფექტურობის განსაზღვრის მეთოდები. პროპორციული მეთოდის გამოყენებით გაანალიზებულია სხვადასხვა ტიპის კოგენერაციული სისტემების ეფექტურობის ძირითადი მაჩვენებლები.

ნორმატიული მეთოდის გამოყენებით ჩატარებულია KO ტიპის ტურბინებით აღჭურვილი ორთქლტურბინული თეცის ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების საანგარიშო-ანალიზური გამოკვლევა. განსაზღვრულია სათბობის კუთრი ხარჯი და მისი ფარდობითი ეკონომია ენერგოწარმოების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით.

შესწავლილია გარდაბანში მოქმედი აირტურბინული დანადგარების ატ-თეცად რეკონსტრუქციის ეფექტურობის შესაძლებლობა.

გაანალიზირებულია ქ. თბილისში გლდანის რაიონში ადრე მოქმედი №44 საქვების აირტურბინულ თეცად რეკონსტრუქციის ეფექტურობა და განსაზღვრულია თეცის ძირითადი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები.

შედეგების გამოყენების სფერო. ნაშრომში მიღებული შედეგები

შეიძლება საფუძვლად დაედოს საქართველოს ქალაქებში სხვადასხვა ტიპის კოგენერაციული სადგურების პროექტების დამუშავებას და შექმნას.

სამუშაოს აპრობაცია. სამუშაოს ძირითადი დებულებები და შედეგები მოხსენებული იყო სამეცნიერო კონფერენციებზე:

1. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის №76 სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია 2008 წ.
2. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. ა. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. 21-22 მაისი, 2010 წ. ქუთაისი;
3. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა №79 ღია საერთაშორისო კონფერენციაზე 2011 წ.; სადისერტაციო თემის პირველ სემინარზე: სათბობის ეკონომიის განსაზღვრა ენერგოსისტემებში, გამოწვეული სხვადასხვა ტიპის კოგენერაციული სადგურების ფუნქციონირებით. მეორე თემატურ სემინარზე: ორთქლტურბინული და ორთქლაირული კოგენერაციული სადგურების ენერგოეფექტურობის გამოკვლევა პროპორციული მეთოდით.

პუბლიკაციები. სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია 7 სამეცნიერო ნაშრომში.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაციის ტექსტი შედგება შესავლის, ოთხი თავის, დასკვნის, რეზიუმეს, 71 დასახელების გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალისაგან. დისერტაციის მოცულობა შეადგენს 158 გვერდს, 49 ცხრილსა და 71 ნახაზის ჩათვლით.

სამუშაოს მოკლე შინაარსი

თავი I. კოგენერაცია აღიარებულია ენერგოდამზოვი პოლიტიკის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს მიმართულებად. იგი უზრუნველყოფს ორგანული სათბობისა და კაპიტალდაბანდებების ყველაზე რაციონალურად გამოყენებას და ქალაქებისა და დასახლებული პუნქტების ეკოლოგიურ უსაფრთხოებას.

2004 წლის დასაწყისში ევროკომისიამ მიიღო ახალი დირექტივა კოგენერაციის შესახებ, რომელიც განსაზღვრავს პოლიტიკურ სტრატეგიას

ტეგიას გარდამავალი ეკონომიკის ქვეყნებში და აწესებს სტიმულებს კოგენერაციული სისტემების დანერგვისათვის.

კოგენერაციის განვითარების აუცილებელი პირობებია: უნდა იზრდებოდეს მოთხოვნა სითბოსა და ელექტროენერგიაზე ან უნდა არსებობდეს ინვესტირების შესაძლებლობები, რომ მოხდეს არსებული სიმძლავრეების შეცვლა და მოძველებული ენერგოდანადგარების რეკონსტრუქცია.

საქართველოში კოგენერაციის განვითარებას სჭირდება სახელმწიფოებრივი მხარდაჭერა. კოგენერაცია საქართველოში ამჟამად ძალზე სუსტად არის განვითარებული, რაც დიდ ზარალს აყენებს ქვეყნის ეკონომიკას.

მიგვაჩნია, რომ საქართველოში უნდა განვითარდეს კოგენერაციის ახალი სახეობა, რომელიც ძირითადად დაფუძნებული იქნება თანამედროვე მაღალეკონომიური აირტურბინული (ატდ) და, ორთქლი-ირული დანადგარების გამოყენებაზე.

აირტურბინული ბლოკ-თეცების შექმნა და დანერგვა საქართველოში ძალზე აქტუალური პრობლემაა, ვინაიდან საქმე ეხება იმ მეტად ძვირადღირებული სათბობის (უმთავრესად, ბუნებრივი აირის) დიდ ეკონომიას, რომლის შექმნა ჩვენ გვიხდება უცხოეთში. ასეთი სადგურები გაცილებით უფრო მომგებიანია, როგორც საერთო ეკონომიურობის თვალსაზრისით, ასევე ხვედრითი კაპიტალური დაბანდება-ბის მიხედვით, ვიდრე ტრადიციული ორთქლტურბინული თეცები. ქვაბ-უტილიზატორებით აღჭურვილი 25 მგვტ-მდე სიმძლავრის თბოფიკაციური აირტურბინული დანადგარების განთავსება რაიონულ საქვაბუ-ებში იძლევა საშუალებას 25...30%-ით შემცირდეს, ორთქლტურბინულ თეცთან შედარებით, სათბობის კუთრი ხარჯი 1 კვტ.სთ გაცემულ ელექტროენერგიაზე, 2...2,5-ჯერ მომსახურე პერსონალის ხვედრითი რაოდენობა და 1,7...2-ჯერ კუთრი ლითონტევადობა.

საქართველოში აირტურბინული თეცები უნდა აშენდეს ეტაპობ-რივად, ადრე არსებული რაიონული, კვარტალური და სამრეწველო საქვაბეების თავისუფალ ტერიტორიებზე თბილისში და სხვა დიდ და საშუალო ქალაქებში. მარტო თბილისში პირველ ეტაპზე შეიძლება შეიქმნას 5÷6 ასეთი თეცი დადგული ჯამური სიმძლავრით არანაკლებ

500 მგვტ. ისინი უნდა აღიჭურვოს მოწინავე უცხოური ფორმების (სიმენსი, ჯენერალ-ელექტრიკი, როლს-როისი და სხვ.) მაღალეფექტური აირტურბინული დანადგარებით.

შემოთავაზებულია თეცების ეფექტურობა შეფასდეს პროპორციული მეთოდით, რომელიც ითვალისწინებს თეცში ყველა დანახარჯის გაყოფას ორი სახის ენერგიას შორის შეაბამისი ხარჯების პროპორციულად სითბოსა და ელექტროენერგიის გამომუშავებისას განცალკევებული მეთოდით (საქვამესა და კონდენსაციურ ელექტროსადგურში).

სათბობის ფარდობითი ეკონომია, რომელსაც უზრუნველყოფს თეცის ფუნქციონირება ენერგოსისტემაში $\bar{B}_{\text{კკ}} = 1 - \bar{B}_{\text{თეც}}$. სათბობის კუთრი ხარჯები თეცში ელექტროენერგიასა და სითბოს გამომუშავებაზე გაიანგარიშება ფორმულებით:

$$b_{\text{თეც}}^{\text{ელ}} = \frac{B_{\text{თეც}}^{\text{ელ}}}{N_{\text{ელ}}} = \frac{B_{\text{კეს}}}{N_{\text{ელ}}} \bar{B}_{\text{თეც}} = b_{\text{კეს}} (1 - \bar{B}_{\text{კკ}}); \quad (1)$$

$$b_{\text{თეც}}^{\text{სო}} = \frac{B_{\text{თეც}}^{\text{სო}}}{Q_{\text{გვ}}} = \frac{B_{\text{საქ}}}{Q_{\text{გვ}}} \cdot \bar{B}_{\text{თეც}} = b_{\text{საქ}} (1 - \bar{B}_{\text{კკ}}), \quad (2)$$

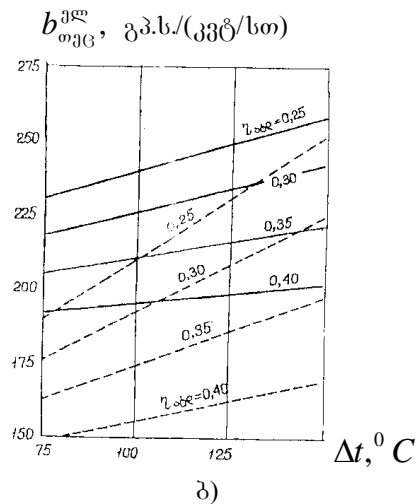
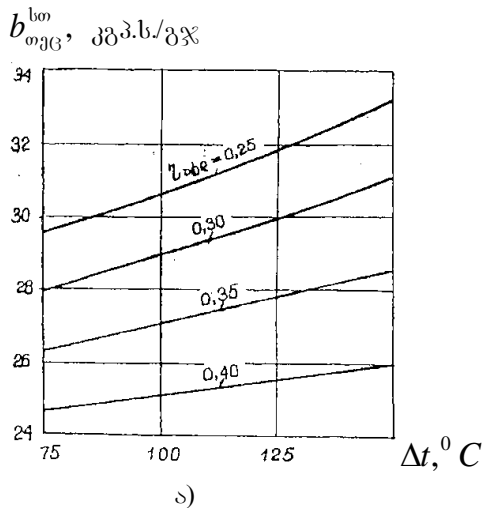
სადაც $N_{\text{ელ}}$ არის თეცის ელექტრული სიმძლავრე, კვტ; $Q_{\text{გვ}}$ – თეცის თბური სიმძლავრე, გჯ/სთ; $b_{\text{კეს}}$ - სათბობის კუთრი ხარჯი კესში, კვტ.ს/კვტ.სთ; $b_{\text{საქ}}$ - სათბობის კუთრი ხარჯი საქვამეში, კვტ.ს/გჯ.

ფორმულები (1) და (2) გამოსადეგია ნებისმიერი ტიპის თეცისათვის - ორთქლტურბინული, აირტურბინული, ორთქლდირული.

ამ დამოკიდებულებების საშუალებით ადვილად განისაზღვრება თეცის კერძო მქ კოეფიციენტები ელექტროენერგიისა და სითბოს გამომუშავებაზე:

$$\eta_{\text{თეც}}^{\text{ელ}} = \frac{0,123}{b_{\text{თეც}}^{\text{ელ}}} = \frac{0,123}{b_{\text{კეს}} (1 - \bar{B}_{\text{კკ}})} = \frac{\eta_{\text{კეს}}}{1 - \bar{B}_{\text{კკ}}}; \quad (3)$$

$$\eta_{\text{თეც}}^{\text{სო}} = \frac{34,1}{b_{\text{თეც}}^{\text{სო}}} = \frac{34,1}{b_{\text{საქ}} (1 - \bar{B}_{\text{კკ}})} = \frac{\eta_{\text{საქ}}}{1 - \bar{B}_{\text{კკ}}}. \quad (4)$$



ნახ. 1. სათბობის კუთრი ხარჯი აირტურბინულ თეცში თბური და ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე:

ა - Δt პარამეტრებზე დამოკიდებულებით ($\eta_{კეს} = 0.37$, $\eta_{საქ} = 0.8$) და ბ - აირტურბინულ თეცში Δt -ზე დამოკიდებულებით $\eta_{აღლ}$ -ს ოთხი მნიშვნელობისთვის: $\eta_{კეს} = 0.37$, $\eta_{საქ} = 0.8$.

ნახ. 1-ზე მოცემულია სითბოს გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის $b_{თეც}^{სო}$ დამოკიდებულებები $b_{თეც}^{სო} = f(\eta_{აღლ})$ და $b_{თეც}^{სო} = f(\Delta t)$. ამ მრუდებს წრფივი ხასიათი აქვთ. ამასთან, პროპორციული მეთოდით მიღებული მნიშვნელობები ყოველთვის ნაკლებია როგორც რაიონული საქვების მაჩვენებელზე $b_{საქ}$, ასევე ფიზიკური მეთოდით განსაზღვრულ სიდიდეზე (პუნქტირის ხაზი); როგორც ცნობილია, ამ მეთოდის თანახმად, აირტურბინული თეცებისთვის $b_{თეც}^{სო}$ მუდმივია (არ არის დამოკიდებული Δt -სა და $\eta_{აღლ}$ -ზე) და პრაქტიკულად თბური ენერგიის ფიზიკური ექვივალენტის ტოლია - 34.1 კგ პ.ს/გჯ.

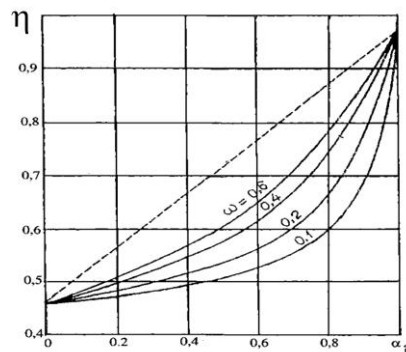
თავი II. ორთქლტურბინული კოგენერაცია

ორთქლტურბინული თეცების ენერგეტიკული ეფექტურობის მაჩვენებლებად მიღებულია სრული მქ კოეფიციენტი (სათბობის სითბოს გამოყენების ხარისხი) $\eta_{თეც}^{სრ}$, კერძო მქ კოეფიციენტები $\eta_{თეც}^{მლ}$, $\eta_{თეც}^{სო}$ და პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯები $b_{თეც}^{მლ}$, $b_{თეც}^{სო}$ ელექტროენერგიის და სითბოს წარმოებაზე, ელექტროენერგიის კუთრი გამომუშავება სითბოს

მოხმარების ბაზაზე ω და სათბობის ფარდობითი ეკონომია $\overline{B_{\text{კ}}}$ - ენერგოწარმოების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით.

განვიხილოთ ენერგეტიკული ეფექტურობის მაჩვენებლები ორთქლტურბინული თეცისთვის, რომელიც დაკომპლექტებულია T ან II ტიპის ერთრეგულირებადართმევიანი ტურბოდანადგარებით.

ნახ. 2-ზე აგებულია $\eta_{\text{ტლ}}^{\text{მლ}} = f(\alpha_{\text{ა}}, \omega)$ და $\eta_{\text{ტლ}}^{\text{სრ}} = f(\alpha_{\text{ა}})$ ფუნქციების გრაფიკები. მიღებულია, რომ კონდენსაციურ რეჟიმში ($\alpha_{\text{ა}} = 0$) $\eta_{\text{ტლ}}^{\text{სრ}} = \eta_{\text{ტლ}}^{\text{მლ}} = \eta_{\text{ტლ}}^{\text{მლ(კ)}} = 0,46$, ხოლო უკუწნევის რეჟიმში ($\alpha_{\text{ა}} = 1$) $\eta_{\text{ტლ}}^{\text{სრ}} = \eta_{\text{ტლ}}^{\text{მლ}} = \eta_{\text{ტლ}}^{\text{მლ(კ)}} = \eta_{\text{კა}} = 0,97$. ამ რეჟიმში ტურბოდანადგარზე მიწოდებული სითბოს ნაწილი გარდაიქმნება შიგა მუშაობად, დანარჩენი სითბო კი გადაეცემა სითბოს მომხმარებელს; სითბოს დანაკარგი ცივ წყაროში არ არის.



ნახ. 2. ორთქლის ართმევის $\alpha_{\text{ა}}$ წილის და ω პარამეტრის გავლენა თბოფიკაციური ტურბოდანადგარის სრული $\eta_{\text{ტლ}}^{\text{სრ}}$ (---) და კერძო $\eta_{\text{ტლ}}^{\text{მლ}}$ (—) მქ კოეფიციენტებზე.

ნახ. 2-დან ჩანს, რომ მცირე $\alpha_{\text{ა}}$ -ის დროს ($\alpha_{\text{ა}} \leq 0,2 \dots 0,3$) $\eta_{\text{ტლ}}^{\text{მლ}}$ მქ კოეფიციენტი უმნიშვნელოდ იზრდება კონდენსაციური რეჟიმის $\eta_{\text{ტლ}}^{\text{მლ(კ)}}$ მქ კოეფიციენტთან შედარებით; როცა $\alpha_{\text{ა}} = 0,4 \dots 0,5$, მაშინ $\eta_{\text{ტლ}}^{\text{მლ}} \cong 0,5 \dots 0,6$. მქ კოეფიციენტის განსაკუთრებით დიდი ნამატი ($\eta_{\text{ტლ}}^{\text{მლ(კ)}}$ -სთან შედარებით) გვაქვს, როცა $\alpha_{\text{ა}} \geq 0,7 \dots 0,8$ და $\omega = 0,4 \dots 0,6$. როდესაც თბოფიკაციური ტურბინა მუშაობს ორთქლის მაქსიმალური ართმევით ($\alpha_{\text{ა}} = 0,95$) და მინიმალური სავენტილაციო ხარჯით დაბალი წნევის ნაწილში, მაშინ $\eta_{\text{ტლ}}^{\text{მლ}}$ მქ კოეფიციენტი მაქსიმალურია ($0,85 \dots 0,90$) ω -ს

თითქმის ყველა მნიშვნელობის დროს ($\omega \geq 0,25 \dots 0,30$).

დამუშავებული მეთოდის საფუძველზე შესაძლებელია განისაზღვროს ენერგოსისტემაში თეცის მუშაობით განპირობებული სათბობის ფარდობითი ეკონომია $\overline{B}_{\text{გკ}}$:

$$\overline{B}_{\text{გკ}} = \frac{B_{\text{გკ}}}{B_{\text{განც}}} = 1 - \frac{1}{\eta_{\text{თეც}}} \cdot \frac{\overline{N}_{\text{თ}} + \omega}{\overline{N}_{\text{თ}} / \eta_{\text{საქ}} + \omega / \eta_{\text{კეს}}}, \quad (5)$$

სადაც $B_{\text{გკ}} = B_{\text{განც}} - B_{\text{თეც}}$ სათბობის აბსოლუტური ეკონომიაა;

$B_{\text{კეს}}, B_{\text{საქ}}$ – სათბობის ხარჯებია ჩასანაცვლებელ კესსა და საქვებში;

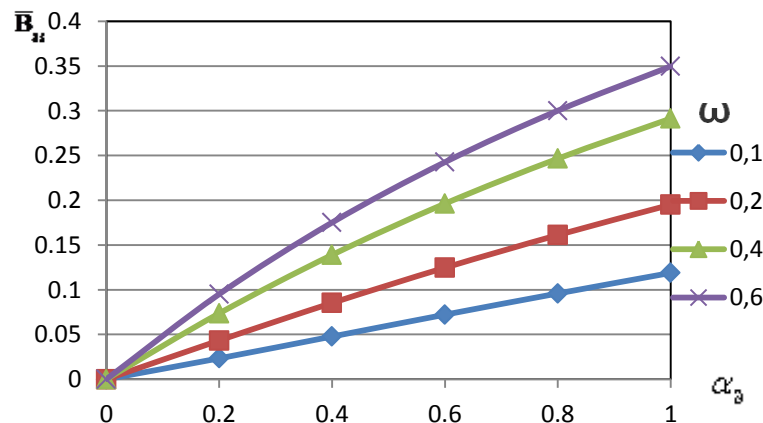
კოეფიციენტი $\overline{N}_{\text{თ}}^{\text{მლ}}$ წარმოადგენს ტურბოდანადგარის ფარდობით თბოფიკაციურ სიმძლავრეს:

$$\overline{N}_{\text{თ}}^{\text{მლ}} = \frac{N_{\text{თ}}^{\text{მლ}}}{N_{\text{ელ}}} = \frac{N_{\text{თ}} \eta_{\text{მ}}}{N_{\text{ელ}}} = \frac{A_{\text{თ}}}{1 + A_{\text{თ}}}. \quad (6)$$

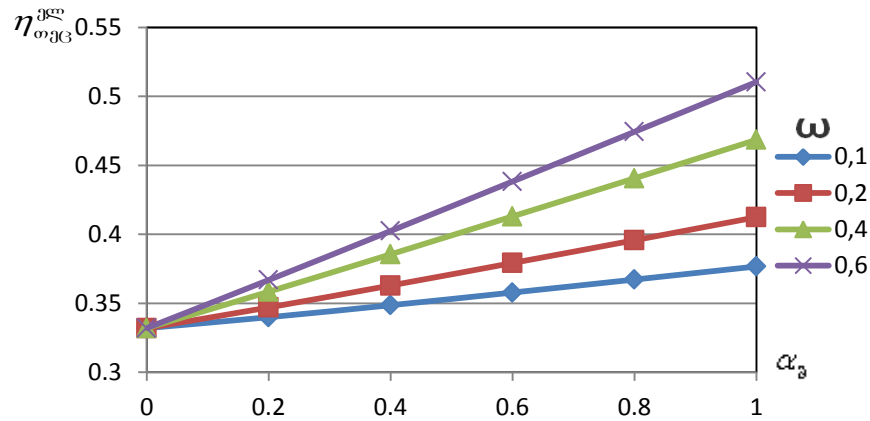
ეს კოეფიციენტი იცვლება 0-დან კონდენსაციურ რეჟიმში ($N_{\text{თ}}^{\text{მლ}} = 0$)

1-მდე უკუწნევის რეჟიმში ($N_{\text{თ}}^{\text{მლ}} = N_{\text{ელ}}$).

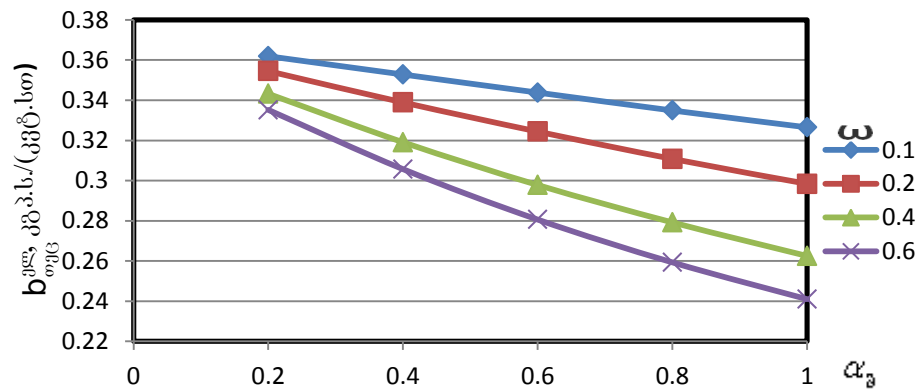
პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ორთქლტურბინული თეცის ეკონომიურობის მაჩვენებლები (იმ პირობებისთვის, როდესაც ჩასანაცვლებელი საქვების მქ კოეფიციენტი $\eta_{\text{საქ}} = 0.8$, ხოლო კონდენსაციური ენერგობლოკის მქ კოეფიციენტი $\eta_{\text{კეს}} = 0.332$) გრაფიკულად წარმოდგენილია ნახ.3-9.



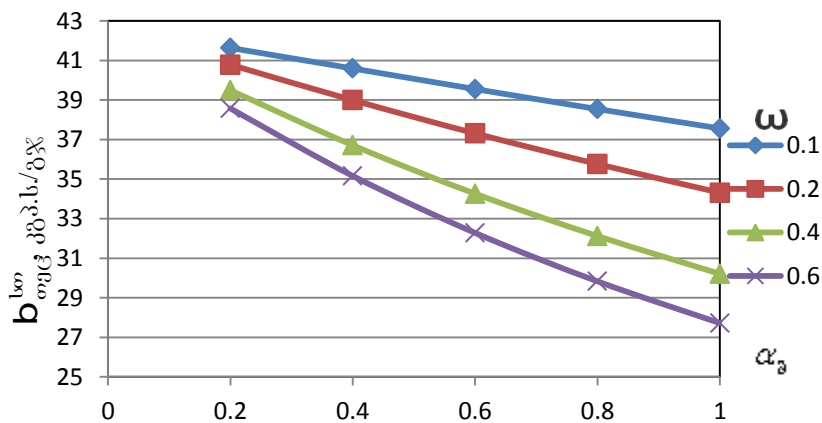
ნახ. 3. გრაფიკი თეცის ფუნქციონირებით გამოწვეული სათბობის ფარდობითი ეკონომიის განსაზღვრისათვის - $\overline{B}_{\text{გკ}} = f(\alpha_g, \omega)$ (მიღებულია $\eta_{\text{კეს}} = 0.332$, $\eta_{\text{საქ}} = 0.8$)



ნახ. 4. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე თეცის კერძო მქ კოეფიციენტის დამოკიდებულება α_f და ω პარამეტრებზე (მიღებულია $\eta_{კეს} = 0.332$, $\eta_{საქ} = 0.8$)

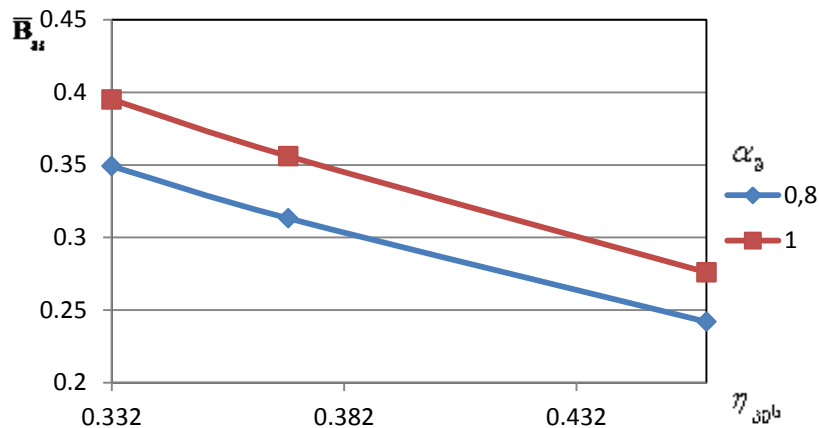


ნახ. 5. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება α_f და ω პარამეტრებზე (მიღებულია $\eta_{კეს} = 0.332$, $\eta_{საქ} = 0.8$)



ნახ. 6. პროპორციული მეთოდით განსაზღვრული სითბოს გამომუშავებაზე სათბობის კუთრი ხარჯის დამოკიდებულება α_f და ω პარამეტრებზე (მიღებულია $\eta_{კეს} = 0.332$, $\eta_{საქ} = 0.8$)

ანალოგიური გაანგარიშებები ჩატარებულია, როცა $\eta_{კეს} = 0.37$, $\eta_{კეს} = 0.46$. შესაბამისი გრაფიკები მოყვანილია დისერტაციაში.



ნახ. 9. სათბობის ფარდობითი ეკონომიის დამოკიდებულება ორთქლტურბინულ თეცში ჩასანაცვლებელი კეს-ის მქ კოეფიციენტზე (მიღებულია $\omega = 0.6$)

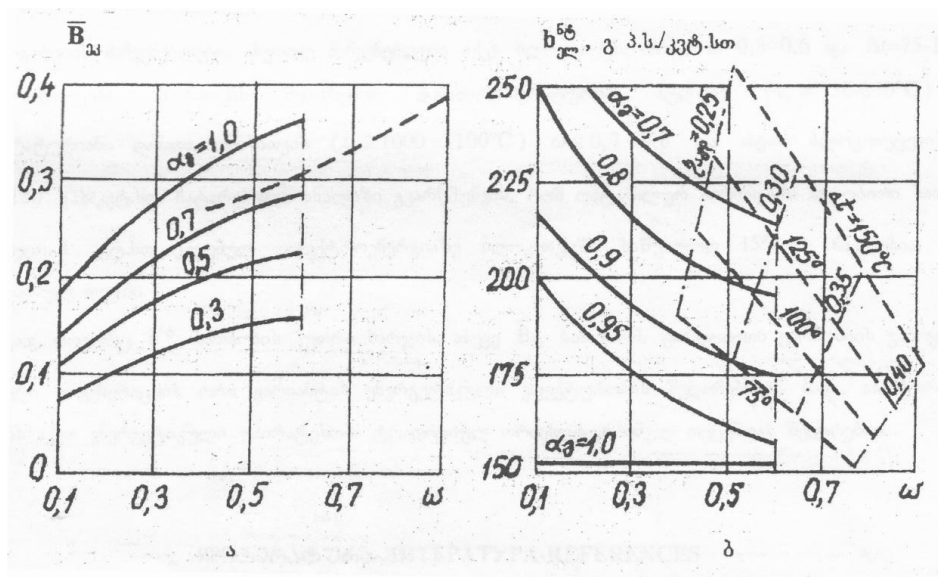
თავი III. აირტურბინული დანადგარების და შიგაწვის ძრავების გამოყენება კოგენერაციაში

აირტურბინული დანადგარები კოგენერაციულ სისტემებში შეიძლება გამოვიყენოთ: 1) ელექტროენერგეტიკულ სისტემებში ცვლადი ელექტრული დატვირთვების დასაფარავად, როგორც სამანევრო დანადგარები. 2) როგორც ბაზისური დანადგარები ზომიერი ელექტრული სიმძლავრით.

თბომომარაგების სისტემებში ატდ-ების გამოყენება უზრუნველყოფს ეკონომიურობის მნიშვნელოვან ამაღლებას: მქ კოეფიციენტი იზრდება 35 ÷ 38%-დან (მათი ავტონომიურად მუშაობისას) 60 ÷ 80%-მდე, ე.ი. ეკონომიურობის მაჩვენებლები უახლოვდება თანამედროვე ორთქლტურბინულ თეცების მაჩვენებლებს (ზოგჯერ აჭარბებს კიდევ).

შევადართ სათბობის კუთრი ხარჯები $b_{კლ}$ ჩვეულებრივ თეცსა და აირტურბინულ ბლოკ-თეცში. ამასთან უნდა შედარდეს არა მაჩვენებელი „ბრუტო“, არამედ „ნეტო“, ვინაიდან ელექტროენერგიის საკუთარ მოხმარებაზე ხარჯი მნიშვნელოვნად განსხვავდება ორთქლტურბინულ თეცსა და აირტურბინულ ბლოკ-თეცში.

აირტურბინულ ბლოკ-თეცებში $k_{\text{სა}}$ კოეფიციენტი გაცილებით ნაკლებია. ეს იმით აიხსნება, რომ მარტივი სქემის ატდ-ებს, რომლებითაც ძირითადად აღიჭურვება ბლოკ-თეცები, არა აქვთ ჰაერსაცივრები ჰაერის შუალედური გაცივებისათვის, აგრეთვე მკვებავი და კონდენსატის ტუმბოები, კვამლმწოვები და სხვ. ამიტომ მათთვის რეკომენდებულია მივიღოთ $k_{\text{სა}} = 0,01-0,015$. ამავე დროს იმ შემთხვევაში, როდესაც ატდ მუშაობს ბუნებრივ აირზე და ბლოკ-თეცის განლაგების ზონაში არ გადის მაღალი წნევის აირსადენი, საჭირო ხდება დამატებით აირსაჭირხნი კომპრესორის დაყენება. ეს ზრდის ელექტროენერგიის ხარჯს საკუთარ მოხმარებაზე 3-3,5%-მდე. ჩვენ გაანგარიშებებში მივიღოთ საშუალო მნიშვნელობა $k_{\text{სა}} \cong 2\%$, ვინაიდან ბლოკ-თეცი იმუშავებს როგორც აირად, ასევე თხევად სათბობზე.



ნახ. 10. სათბობის ფარდობითი ეკონომიის (ა) $\overline{B}_{\text{ბ}} = f(\omega)$ და კუთრი ხარჯების (ბ) $b_{\text{ბ}}^{\text{გ}} = f(\omega)$ შედარება ორთქლტურბინულ თეცსა (უწყვეტი ხაზები) და აირტურბინულ ბლოკ-თეცში (წყვეტილი ხაზები); მიღებულია: $\eta_{\text{კეს}} = 0,37$; $\eta_{\text{საქ}} = 0,8$; $\eta_{\text{ოგ}} = 0,9$; $\eta_{\text{გა}} = 0,97$; $\eta_{\text{ტრ}} = 0,98$

ნახ. 10-ზე (ბ) შედარებულია $b_{\text{ბ}}^{\text{გ}}$ -ის მნიშვნელობები ორთქლტურბინულ თეცსა და აირტურბინულ ბლოკ-თეცში. გაანგარიშებებში მიღებულია: ბლოკ-თეცისათვის $k_{\text{სა}} = 0,02$, თეცისათვის $k_{\text{სა}} = 0,07$; $\eta_{\text{ოგ}} = 0,9$, $\eta_{\text{ტრ}} = 0,98$, $\eta_{\text{გა}} = 0,97$. ელექტროენერგიის კუთრი გამომუშავება სითბოს

მოხმარების ბაზაზე იცვლება თეცისთვის 0,1-დან 0,6-მდე, ბლოკ-თეცისათვის – 0,4-დან~0,9-მდე.

მოყვანილი გრაფიკიდან ჩანს, რომ ფიზიკური მეთოდის გამოყენებით გაანგარიშებული $b_{ელ}^{ნტ}$ სიდიდეები არსებითად განსხვავდება ჩვეულებრივ თეცსა და აირტურბინულ ბლოკ-თეცში. პირველისთვის $b_{ელ}^{ნტ}$ -ის საშუალო მნიშვნელობა მეტია, ვიდრე ბლოკ-თეცში. საუკეთესო შემთხვევაში, როცა $\omega = 0,5 \div 0,6$ და $\alpha_{\eta} = 0,8 \div 0,9$, თეცში სათბობის კუთრი ხარჯი $b_{ელ}^{ნტ}$ იცვლება 175-დან 200 კპს/კვტ.სთ-მდე. ასეთივე მაჩვენებლები აქვს ბლოკ-თეცს, როცა $\omega = 0,5 \div 0,6$ და $\Delta t = 75 \div 100^{\circ}C$. დადგინდა, რომ ოპტიმალურ პირობებში სათბობის კუთრი ხარჯი 1 კვტ.სთ გაცემულ ელექტროენერგიაზე ბლოკ-თეცში საშუალოდ 15%-ით ნაკლებია, ვიდრე ორთქლტურბინულ თეცში.

კოგენერაციის ორი ვარიანტის ენერგეტიკული ეფექტურობის შედარებიდან ჩანს, რომ აირტურბინულ ბლოკ-თეცებს აქვთ ენერგეტიკული უპირატესობა ტრადიციულ ორთქლტურბინულ თეცებთან შედარებით.

გარდაბნის ელექტროსადგურის ტერიტორიაზე დამონტაჟებულია ორი აირტურბინული ენერგობლოკი, რომლებიც მუშაობენ ერთ ელექტროგენერატორზე. აირტურბინული დანადგარების გაზომვარაგება ხორციელდება გარდაბნის აირგამანაწილებელ სადგურიდან. სადგურის ტერიტორიაზე განთავსებულია ბუნებრივი აირის წნევის ამწევი ბუსტერული კომპრესორები, რომელთა საშუალებით ხორციელდება აირის წნევის აწევა 0,8÷1,0 მგპა-დან (წნევა აირის მაგისტრალში) 3,2÷3,4 მგპა-მდე (წნევა აირტურბინული დანადგარის წვის კამერის წინ). ელექტროსადგურის თბოტექნიკური ნაწილი წარმოდგენილია FT8-1 ტიპის ოთხი აირტურბინული დანადგარით, დამზადებული აშშ-ში ფირმა Prat and Witney-ის მიერ. ამ ატ-დების თბოფიკაციურ დანადგარებად გადაკეთების გაანგარიშების შედეგად მიღებულია ატ-თეცის ძირითადი მაჩვენებლები (ცხრ. 1), საიდანაც ჩანს, რომ კოგენერაციულ რეჟიმში ატ-თეცის კუთრი ხარჯი ელექტროენერგიის გაცემაზე შეადგენს $b_{საშ}^{ელ} = 0,2806$ კგპ.ს/(კვტ.სთ).

შესაბამისად ატ-თეცის კერძო მქ კოეფიციენტი (ნეტო) ელექტროენერგიის გაცემაზე:

$$\eta_{\text{ელ}}^{\text{ნტ}} = \frac{0,123}{b_{\text{საშ}}^{\text{ელ}}} = \frac{0,123}{0,2806} = 0,438, \quad (7)$$

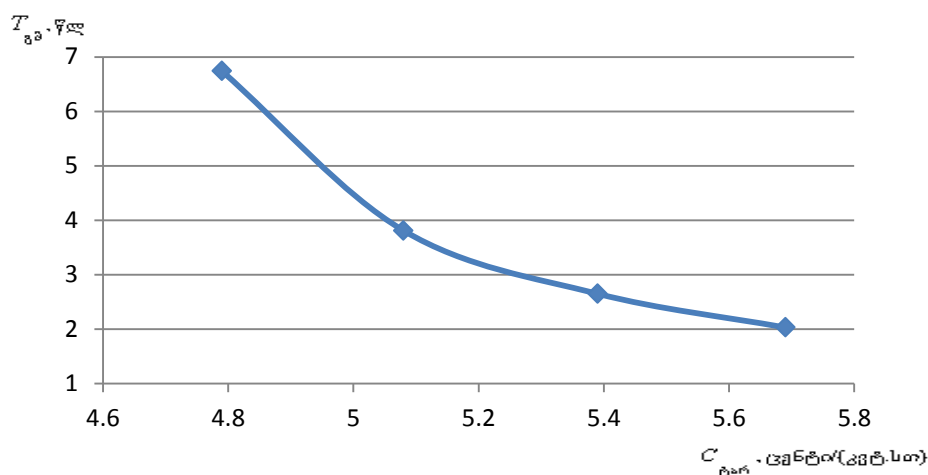
ე.ი. ატ-თეცის ეფექტურობა უტოლდება საუკეთესო, სუპერკრიტიკული პარამეტრებით მომუშავე კონდენსაციური ენერგობლოკის ეფექტურობას.

ნახ. 11-ზე ნაჩვენებია ელექტროენერგიის ტარიფის $C_{\text{ტარ}}$ გავლენა კაპიტალდაბანდების გამოსყიდვის ვადაზე.

ცხრილი 1

გარდაბნის ატ-თეცის მაჩვენებლები

№	პარამეტრი	განზომილება	სიდიდე
1	ელექტრული სიმძლავრე	კვტ	2·54700
2	ელ. ენერგიის წლიური გამომუშავება	კვტ·სთ/წლ	$853,12 \cdot 10^6$
3	ელ. ენერგიის წლიური გაცემა	კვტ·სთ/წლ	$831,99 \cdot 10^6$
4	თბური სიმძლავრე	კვტ	64390
5	პირობითი სათბობის ხარჯი (წლიური)	კგპ.ს/წლ	$276,22 \cdot 10^6$
6	ბუნებრივი აირის წლიური ხარჯი	მ ³ /წლ	$227,34 \cdot 10^6$
7	გათბობის სეზონში გაცემული ელ.ენერგიის რაოდენობა	კვტ·სთ	$389,12 \cdot 10^6$
8	ატდ-თეცში პირობითი სათბობის საშუალო წლიური კუთრი ხარჯი ელ.ენერგიის გაცემაზე	კგპ.ს/(კვტ·სთ)	0,2806
9	ელ.ენერგიის თვითღირებულება	ცენტ/კვტ·სთ	4,4
10	ბუნებრივი აირის წლიური ხარჯი თბური ენერგიის გამომუშავებაზე	მ ³ /წლ	$35,19 \cdot 10^6$
11	თბური ენერგიის ჯამური წლური გამომუშავება	გჯ/წლ	1174140
12	პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯი თბური ენერგიის გამომუშავებაზე	კგპ.ს/გჯ	36,4
13	ატდ-თეცის სრული მქ კოეფიციენტი (საშუალო წლიური)	%	53
14	ატდ-თეცის სრული მქ კოეფიციენტი გათბობის სეზონში	%	58,4
15	კაპიტალდაბანდების გამოსყიდვის ვადა, როცა ელ.ენერგიის ტარიფია; ცენტ/კვტ·სთ: ა) 4,79 ბ) 5,08 გ) 5,39 დ) 5,69	წელი	6,74 3,81 2,65 2,03



ნახ. 11. ელექტროენერგიის ტარიფის $C_{\text{ტარ}}$ გავლენა კაპიტალდაბანდების გამოსყიდვის ვადაზე $T_{\text{გა}}$

ამჟამად აირტურბინულ კოგენერაციულ სადგურებში ძირითადად გამოიყენება უმარტივესი თერმოდინამიკური ციკლის აირტურბინული დანადგარები. უფრო მეტი ეკონომიკური ეფექტის მიღება შესაძლებელია, თუ კოგენერაციისთვის გამოყენებული იქნება რთული სქემების მრავალაგრეგატიანი ატდ-ები სითბოს შუალედური მიწოდებით და ჰაერის შუალედური გაცივებით, შესაძლებელია შუალედურ ჰაერსაცივრებში გამოყოფილი სითბოს გამოყენება კოგენერაციის სისტემებში.

სითბოს შუალედური მიწოდებით ატდ-ის დიდი უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ, გარდა წარმავალი აირების მაღალი ტემპერატურის მიღებისა, რაც მნიშვნელოვანია კოგენერაციისთვის, უზრუნველყოფილი იქნება კუთრი ეფექტური მუშაობის (1 კგ მუშა სხეულზე გათვლით) მნიშვნელოვანი გადიდება. სათბობის ხარჯი ატდ-ზე განისაზღვრება მხოლოდ მისი ელექტრული სიმძლავრით და საერთოდ არ არის დამოკიდებული სითბოს რაოდენობაზე, რომელიც გაიცემა ატ-თეციდან. სათბობის ეკონომია თბოელექტრომომარაგების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით შეიძლება შეფასდეს სითბოს ფარდობითი ეკონომიის მეშვეობით $q_{\text{გკ}} = Q_{\text{გკ}} / Q_{\text{გმ}}$, სადაც $Q_{\text{გკ}}$ არის სითბოს აბსოლუტური ეკონომია, $Q_{\text{გმ}}$ - ატდ-ის თბური სიმძლავრე – სითბოს მაქსიმალური რაოდენობა, რომელიც შეიძლება გაიცეს გარე მომხმარებლებზე ატდ-დან დროის ერთეულში მისი სრული

ელექტრული სიმძლავრის დროს. $q_{\text{ჰჰ}}$ -ის გამოსათვლელად მიღებულია ფორმულა

$$q_{\text{ჰჰ}} = \frac{1}{\eta_{\text{საქ}}} - \frac{1/\eta_{\text{ატლ}} - 1/\eta_{\text{კეს}}}{1/\eta_{\text{ატლ}} - 1/\eta_{\text{ჰჰ}} - q_{\text{წარ}}}, \quad (8)$$

სადაც $\eta_{\text{ატლ}}$ და $\eta_{\text{ჰჰ}}$ -ატლ-ისა და მისი ელექტრომექანიკური მქ კოეფიციენტებია; $q_{\text{წარ}}$ -წარმავალი აირებით სითბოს კუთრი დანაკარგი (1კვტ სიმძლავრეზე), (კვტ/წმ) /კვტ:

$$q_{\text{წარ}} = \frac{c_p d(t_{\text{წარ}} - t_{\text{გარ}})}{3600}, \quad (9)$$

სადაც c_p -მუშა სხეულის (აირის) კუთრი სითბოტევადობაა, კვტ/(კგ.K), d – ატლ-ის მუშა სხეულის (აირის) კუთრი ხარჯი, კგ/(კვტ.სთ), $t_{\text{წარ}}$ -წარმავალი აირების ტემპერატურა საუტილიზაციო თბოგადამცემის მიღმა, °C, $t_{\text{გარ}}$ -გარემოს ჰაერის ტემპერატურა, °C.

(8) ფორმულის მნიშვნელში სამწევრი წარმოადგენს ატლ-თეცის კუთრ თბურ სიმძლავრეს:

$$q_{\text{გჰ}} = 1/\eta_{\text{ატლ}} - 1/\eta_{\text{ჰჰ}} - q_{\text{წარ}}. \quad (10)$$

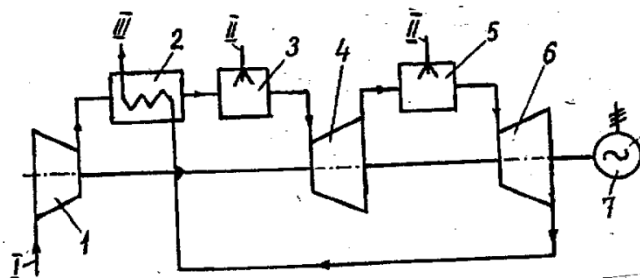
სათბობის ფარდობითი ეკონომიის გასაანგარიშებლად ნებისმიერი სქემის ატლ-თეცისათვის გამოიყენება ფორმულა:

$$\bar{B}_{\text{ჰჰ}} = 1 - \frac{\eta_{\text{საქ}}/\eta_{\text{ატლ}}}{q_{\text{გჰ}} + \eta_{\text{საქ}}/\eta_{\text{კეს}}}. \quad (11)$$

$q_{\text{ჰჰ}}$ და $B_{\text{ჰჰ}}$ სიდიდეები განსაზღვრულია ორი შემთხვევისთვის: 1) როდესაც ატლ-თეცში გამოყენებულია უმარტივესი სქემის ატლ და 2) როდესაც აქ გამოყენებულია რთული სქემის ატლ ერთი შუალედური ჰაერსაცირით, რეგენერაციით და ერთი შუალედური წვის კამერით (ნახ. 11).

ატლ-თეცის მეორე ვარიანტში $\eta_{\text{ატლ}}$ მეტია. ხოლო d –ნაკლები, ვიდრე პირველში.

მიღებულია, პირველ ვარიანტში: $\eta_{\text{ატლ}}=0.294$, $d=25.2$ კგ/(კვტ.სთ);



ნახ. 11. ატდ-ის რთული სქემა ჰაერის ერთსაფეხურიანი შეკუმშვით, რეგენერაციით და სითბოს შუალედური მიწოდებით:

1-კომპრესორი, 2-რეგენერატორი, 3, 5-წვის კამერები, 4, 6-მაღალი და დაბალი წნევის ტურბინები, 7-ელექტროგენერატორი; I-ჰაერი, II-სათბობი, III-წარმავალი აირები.

მეორე ვარიანტში: $\eta_{ატდ} = 0.32$, $d = 18.2$ კგ/(კვტ.სთ);

მესამე ვარიანტში: $\eta_{ატდ} = 0.38$, $d = 11.6$ კგ/(კვტ.სთ);

დანარჩენი პარამეტრები მივიღოთ ერთნაირი:

$\eta_{საქ} = 0.88$, $\eta_{კეს} = 0.37$, $\eta_{ემ} = 0.97$, $t_{წარ} = 110^{\circ}\text{C}$, $t_{გარ} = 0^{\circ}\text{C}$.

გაანგარიშების შედეგები სამივე ვარიანტისთვის მოყვანილია ცხრილ 1-ში, საიდანაც ჩანს, რომ ატდ-თეცში უმარტივესი სქემის ატდ-ის მაგივრად რთული სქემის ატდ-ის გამოყენება უზრუნველყოფს როგორც სითბოს, ისე სათბობის ფარდობითი ეკონომიის გადიდებას – თბოელექტრომომარაგების განცალკევებულ ვარიანტთან შედარებით.

ცხრილი 2

ატ-თეცის მაჩვენებლები სხვადასხვა პირობებში

პარამეტრი	I ვარიანტი	II ვარიანტი	III ვარიანტი
	$\eta_{ატდ} = 0.294$, $d = 25.2$ კგ/(კვტ.სთ)	$\eta_{ატდ} = 0.32$, $d = 18.2$ კგ/(კვტ.სთ)	$\eta_{ატდ} = 0.38$, $d = 11.6$ კგ/(კვტ.სთ)
$q_{წარ}$	0.816	0.589	0.3776
$q_{კეს}$	0.687	0.856	1.1945
$q_{ემ}$	1.514	1.505	1.223
$\overline{B}_{ემ}$	0.231	0.292	0.357

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ სხვადასხვა ტიპის რთული სქემების აირტურბინული დანადგარების გამოყენება ატ-თეცებში უზრუნველყოფს სათბობის ეკონომიის გაზრდას ენერგოსისტემაში საშუალოდ $20 \div 25\%$ -ით, უმარტივესი სქემის ატდ-ების გამოყენებასთან შედარებით.

პირველ ეტაპზე ატ-თეცად უნდა გადაკეთდეს ერთი სათბო-ერებელი რაიონული საქვამე ტიპური თბური დატვირთვით 110...140 მგვტ. აირტურბინული დანადგარების მუშაობის ხანგრძლივობის მაქსიმუმის მისაღწევად დაშვებული იქნა მათი მუშაობა ზამთრის პერიოდში 24 სთ. განმავლობაში და დანარჩენ პერიოდში—3000 სთ. ცხელწყალმომარაგების დატვირთვის დასაფარავად.

მაგალითისთვის განვიხილოთ, გლდანში ადრე არსებული №17 საქვამე, რომლის ბაზაზე, შეიძლება შეიქმნას ატ-თეცი. გაანგარიშების შედეგები მოყვანილის ცხრ. 3-ში.

ცხრილი 3

ატ-თეცის მუშაობის წლიური მაჩვენებლები

№	მაჩვენებლების დასახელება	განზომილება	სიდიდე
1	ელექტროენერგიის გამომუშავება ატ-თეცში	მლნ.კვტ.სთ/წელ	609,4
2	ატ-თეცის საღებებიდან გაცემული ელექტროენერგია	მლნ.კვტ.სთ/წელ	589,01
3	ცხელი წყლით გაცემული სითბო	ათას.გკალ/წელ	695,18
4	ატ-თეცში საკუთარ მოხმარებაზე დახარჯული ელექტროენერგია	მლნ.კვტ.სთ/წელ %	20,39 3,35
	მათ შორის		
5	ელექტროენერგიის წარმოებაზე	მლნ.კვტ.სთ/წელ %	17,82 2,92
6	სითბოს წარმოებაზე	მლნ.კვტ.სთ/წელ %	2,57 0,42
7	პირობითი სათბობის ხარჯი	ათას.ტპ.ს	236,11
	მათ შორის		
8	ელექტროენერგიის წარმოებაზე	ათას.ტპ.ს	126,24
9	სითბოს წარმოებაზე	ათას.ტპ.ს	109,87
10	სათბობის პირობითი ხარჯი სითბოს წარმოებაზე	კვტ.ს/გკალ	170,0
11	იგივე ელექტროენერგიის წარმოებაზე	გპ.ს/კვტ.სთ	214,33

დიზელის მუშა ცილინდრებში საწვავის წვის შედეგად მიღებული სითბო მთლიანად არ გარდაიქმნება სასარგებლო მუშაობად, ამ სითბოს დიდი ნაწილი იკარგება ნამუშევარი აირებით და მაცივებელი წყლით. უახლესი ტიპის დიზელებშიც კი ეფექტური მქ კოეფიციენტი $\eta_{კლ}$ არ

აღებატება 40-45%-ს, ხოლო ძველი კონსტრუქციის, განსაკუთრებით ამორტიზებულ დიზელებში ის კიდევ უფრო ნაკლებია. ამრიგად, სითბოს დიდი ნაწილი (55% და მეტი) იკარგება, არადა ეს სითბო შეიძლება მოხმარდეს საწარმოო და სამეურნეო-საყოფაცხოვრებო საჭიროებას.

ნამუშევარი აირებით და მაცივებელი წყლით გატანილი სითბო შეიძლება გამოვიყენოთ გარკვეული მიზნებისათვის. ამასთან მაცივებელი წყლის სითბო შეიძლება გამოყენებულ იქნეს უფრო სრულად, ვიდრე წარმავალი აირების სითბო. ნამუშევარმა აირებმა სითბოს ნაწილი შეიძლება გადასცეს ნებისმიერ თბოგადამტანს (წყალს, ორთქლს, ჰაერს და სხვ.) აპარატ-უტილიზატორის მეშვეობით. ნამუშევარი აირებიდან 1 სთ-ში გაცემული სითბო ტოლია:

$$Q_2 = (1 - \phi) \cdot g_{\text{ვვ}} \cdot N_{\text{ვვ}} \cdot (i_{s1} - i_{s2}), \text{კვ/სთ} \quad (12)$$

სადაც $g_{\text{ვვ}}$ - სათბობის კუთრი ხარჯია, კვ/(კვტ.სთ);

$N_{\text{ვვ}}$ - დიზელის სიმძლავრე, კვტ;

i_{s1}, i_{s2} - აირის ენთალპია ქვაბში შესვლისას და გამოსვლისას

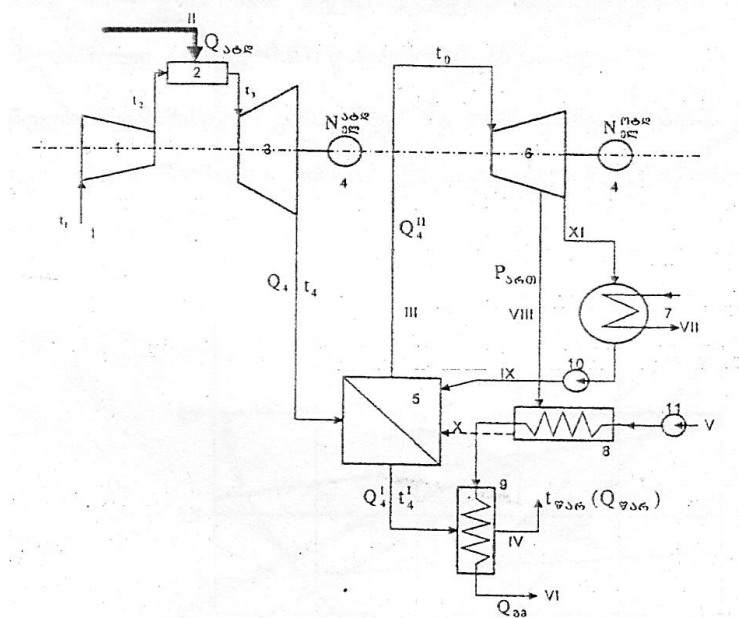
დიზელში დამწვარ 1 კვ სათბობზე შეფარდებით, კვ/კვ:

ϕ - სითბოს დანაკარგის კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება 3-5%-ის ტოლი ან განისაზღვრება ექსპერიმენტულად. A-41 დიზელის მაგალითზე, რომლის ეფექტური სიმძლავრე $N_{\text{ვვ}} = 37,5 \text{ კვტ}$, $Q_{\text{გათ}} = 0,49 \cdot 2640 \cdot 28 = 36200 \text{ კვტ} = 36,2 \text{ კვტ}$, გაანალიზებულია ნარჩენი სითბოს უტილიზაციის შესაძლებლობა. დადგენილია, რომ გათბობის სისტემაში ამ დიზელის გამოყენებისას შესაძლებელი იქნება 800 მ² ფართობის შენობის გათბობით უზრუნველყოფა.

თავი IV. ორთქლაირული კოგენერაცია

კომბინირებული ციკლების გამოყენება თესებში უზრუნველყოფს თბური ეკონომიკურობის გაზრდას და საჭირო კაპიტალდაზღვრების შემცირებას.

ბინარული ტიპის ქვაბ-უტილიზატორიანი თბოფიკაციური ორთქლაირული დანადგარები ყველაზე პერსპექტიულია თეცებისათვის.



ნახ. 12. ქვაბ-უტილიზატორიანი ატდ-თეცის პრინციპული თბური სქემა

ნახ. 12-ზე მოყვანილია ასეთი ტიპის დანაგარებით აღჭურვილი თეცის პრინციპული თბური სქემა, სადაც გამოყენებულია უმარტივესი ტიპის აირტურბინული დანადგარი, KO ტიპის (T ან Π) ერთრეგულირებადართმევიანი თბოფიკაციური ორთქლის ტურბინა, რომელსაც არა აქვს ორთქლის რეგენერაციული ართმეგები. ატდ-ის წარმავალი აირების სითბოს უტილიზაცია ხდება თანმიმდევრულად ჯერ ქვაბ-უტილიზატორში 5 ორთქლის ტურბინისათვის 6 დაბალი ან საშუალო წნევის ორთქლის მისაღებად, შემდეგ კი აირწყლიან შემთბობში 9. ამის შედეგად წარმავალი აირების ტემპერატურა მცირდება 450...550°C-დან (ატდ-ის გამოსასვლელზე) 100...150°C-მდე (ატმოსფეროში გატყორცნისას). გათბობა-ცხელწყალმომარაგების სისტემაში მისაწოდებელი ქსელის წყალი შეთბება ჯერ ორთქლწყლიან შემთბობში (ბოილერში) 8 ორთქლის ტურბინიდან ართმეული ორთქლით, შემდეგ კი აირწყლიან შემთბობში 9 ატდ-ის წარმავალი აირებით.

ენერგოსისტემაში ორთქლაირული თეცის ფუნქციონირებით განპირობებული სათბობის ფარდობითი ეკონომია – ენერგოწარმოების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით ტოლია:

$$\bar{B}_{\text{კკ}} = 1 - 1 / \left[\eta_{\text{ატდ}} \left(1 / \eta_{\text{კკს}} - 1 / \eta_{\text{საკ}} \right) \left(1 + \bar{N}_{\text{ვლ}}^{\text{ოტდ}} \right) + \eta_{\text{ატდ}}^{\text{სრ}} / \eta_{\text{საკ}} \right]; \quad (13)$$

სადაც $\eta_{\text{კკ}}^{\text{კკ}}$ - ატდ-ის და ოტდ-ის ელექტრომექანიკური მქ კოეფიციენტი

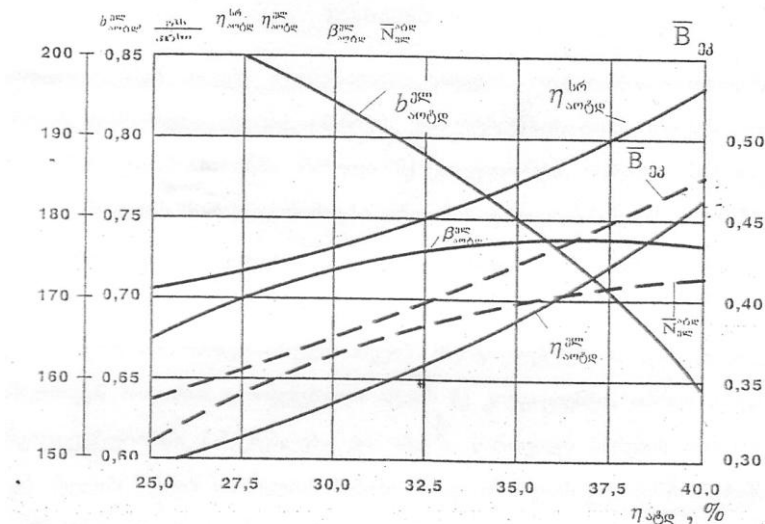
($\eta_{\text{გმ}} \cong 0,97$); $\eta_{\text{ატდ}}, \eta_{\text{კეს}}, \eta_{\text{საქ}}$ შესაბამისად აირტურბინული დანადგარის, კონდენსაციური ელექტროსადგურის და რაიონული საქვების მქოვეფიცენტები; $\omega_{\text{ოტდ}}$ - ორთქლტურბინულ დანადგარში ელექტროენერგიის კუთრი გამომუშავება თბური მოხმარების ბაზაზე; $\beta_{\text{გმ}}$ - ატდ-ის წარმავალი აირების სითბოს წილი, რომელიც მიეწოდება აირწყლიან შემთბობს; $\overline{N}_{\text{ელ}}^{\text{ოტდ}}$ - ორთქლაირულ თეცში შემავალი ორთქლტურბინული და აირტურბინული დანადგარების ელექტრულ სიმძლავრეთა ფარდობა; $\overline{N}_{\text{თ}}^{\text{ელ}}$ ორთქლის ტურბინაში თბოფიკაციური ნაკადით გამომუშავებული ფარდობითი ელექტრული სიმძლავრე; $q_{\text{წარ}}$ ატდ-ის წარმავალი აირებით სითბოს კუთრი დანაკარგი - ატდ-ის 1 კვტ სიმძლავრეზე გაანგარიშებით.

$\beta_{\text{გმ}}$ - კოეფიცენტის შეიძლება იცვლებოდეს დიაპაზონში 0-დან 1-მდე, როცა $\beta_{\text{გმ}} = 0$, მაშინ ატდ-ის წარმავალი აირების სითბო მთლიანად გამოიყენება ქვბ-უტილიზატორში ორთქლის მისაღებად. ამ შემთხვევაში ოტდ-ის ელექტრული სიმძლავრე მაქსიმალურია. შესაბამისად ელექტროენერგიის კუთრი გამომუშავება $\omega_{\text{ოტდ}}$ ძალიან მაღალი გამოდის $\omega_{\text{ოტდ}} = 2,0 \dots 2,3$, სათბობის ფარდობითი ეკონომიაც მაქსიმალურია: $\overline{B}_{\text{კეს}} = 0,47$. როდესაც, $\beta_{\text{გმ}} = 1$, მაშინ ატდ-ის წარმავალი აირების სითბო გამოიყენება მხოლოდ ქსელის წყლის შესატბობად, აირწყლიან შემთბობში, ორთქლი ქვბ-უტილიზატორში არ გამომუშავდება, ამიტომ ორთქლის ტურბინა სქემიდან გამოირიცხება და აოტდ აირტურბინულ თეცად გარდაიქმდება. ამ შემთხვევაში ელექტრული სიმძლავრის გენერირება წარმოებს მხოლოდ აირტურბინულ დანადგარში, შესაბამისად ω პარამეტრიც გამოდის მინიმალური - $\omega \approx 0,8$, სათბობის ფარდობითი ეკონომიაც რამდენადმე შემცირებულია: $\overline{B}_{\text{კეს}} = 0,41$.

ნახ. 13-ზე წარმოდგენილია აოტდ-თეცის ენერგოეფექტურობის

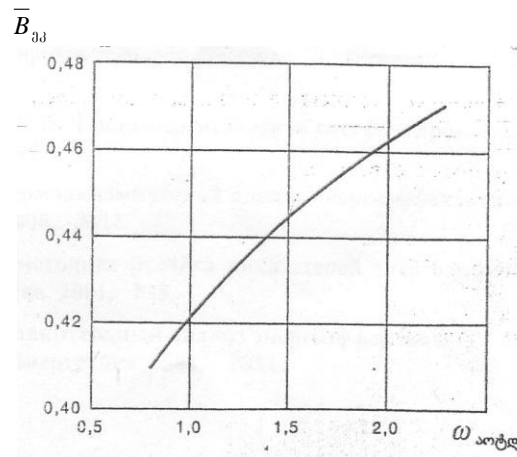
განხილული მაჩვენებლები აირტურბინული დანადგარის $\eta_{ატლ}$ მქ კოეფიციენტზე დამოკიდებულებით. ამასთან $\eta_{ატლ}$ -ის ცვლილების დიაპაზონი მიღებულია 25%-დან 40%-მდე, ხოლო დანარჩენი განმსაზღვრელი პარამეტრები: $\eta_{კეს} = 0,37$; $\eta_{საქ} = 0,8$; $\beta_{გმ} = 0,2$; $\omega_{ოტლ} = 0,6$. როგორც ნახაზიდან ჩანს, $\eta_{ატლ}$ -ის გადიდებისას ორთქლაირული თეცის პრაქტიკულად ყველა პარამეტრი ინტენსიურად იზრდება. გამონაკლისს წარმოადგენს მხოლოდ $\beta_{აოტლ}^{შლ}$ სიდიდე, რომელიც $\eta_{ატლ}$ -ის გადიდებისას 25%-დან 32,5%-მდე ჯერ იზრდება (0,67-დან 0,73-მდე), ხოლო $\eta_{ატლ}$ -ის შემდგომი გაზრდისას პრაქტიკულად უცვლელი რჩება.

მიღებულ პირობებში $\eta_{ატლ}$ -ის გადიდება მითითებულ დიაპაზონში იწვევს კერძო $\eta_{აოტლ}^{შლ}$ მქ კოეფიციენტის გაზრდას ~ 60%-დან (როცა $\eta_{ატლ} = 25\%$) 77%-მდე ($\eta_{ატლ} = 40\%$), იზრდება აგრეთვე აოტლ-თეცის სრული მქ კოეფიციენტი – 71,5%-დან 83,5%-მდე.



ნახ. 13. აოტლ-თეცის მაჩვენებლები ატლ-ის მქ კოეფიციენტზე დამოკიდებულებით, როცა $\eta_{ოტლ}^{შლ} = 0,46$, $\alpha_{ო} = 0,7$, $\omega_{ოტლ} = 0,6$, $\beta_{გმ} = 0,2$, $\eta_{კეს} = 0,37$, $\eta_{საქ} = 0,8$, $\eta_{ემ} = 0,97$

ნახ. 14-ზე ნაჩვენებია სათბობის ფარდობითი $\bar{B}_{\text{მკ}}$ ეკონომიის დამოკიდებულება $\omega_{\text{აოტდ}}$ პარამეტრზე. ამ ფუნქციას მკვეთრად ზრდადი



ნახ. 14. დამოკიდებულება $\bar{B}_{\text{მკ}} = f(\omega_{\text{აოტდ}})$ აოტდ-თეცისათვის, როცა $\eta_{\text{კეს}} = 0.37$,

$$\eta_{\text{საქ}} = 0.8, \quad \eta_{\text{აოტდ}} = 0.4, \quad \omega_{\text{ოტდ}} = 0.6, \quad \Delta t_{\text{წარ}} = 100^\circ\text{C}$$

ხასიათი აქვს. ეს მრუდი ადასტურებს, რომ ელექტროენერგიის კუთრი გამომუშავება თბური მოხმარების ბაზაზე არსებითად განსაზღვრავს სათბობის იმ ეკონომიას, რომელიც მიიღწევა ენერგოსისტემაში ორთქლაირული თეცის ფუნქციონირებისას – თბოელექტრომომარაგების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით.

ამჟამად ენერგეტიკაში ძირითადი ყურადღება ორგანული სათბობის წვის პროდუქტების უტილიზაციის პრობლემას ექცევა. ორგანული სათბობის წვის შედეგად მიღებული - ნახშირორჟანგი ყოველგვარი შეზღუდვის გარეშე გაიტყორცნება ატმოსფეროში. თუ 2030 წლისათვის ატმოსფეროში CO_2 -ის შემადგენლობა 2-ჯერ გაიზრდება, ეს გამოიწვევს დედამიწაზე ტემპერატურის საშუალოდ 2°C – ით გაზრდას, ამიტომ CO_2 -ის პრობლემა აუცილებლად უნდა გადაწყდეს უახლოეს პერიოდში.

თბოენერგეტიკის ეკოლოგიური პრობლემების გადაწყვეტის ეფექტური გზებია: 1) თბოენერგეტიკის განვითარება თანამედროვე აირტურბინული ტექნოლოგიების გამოყენების ბაზაზე; 2) თბოელექტროსადგურების წვის პროდუქტებზე NO_x -ის შემცირება, SO_2 -ის და

CO₂ -ის სრული ან ნაწილობრივი უტილიზაცია; 3) თესვებში მაზუთის, როგორც სარეზერვო სათბობის გამოყენების გამორიცხვა, რაც შესაძლებელია განხორციელდეს თესვების სქემაში ბუნებრივი აირის გამოთხევადებული დანადგარის ჩართვით.

თხევადი აირის შენახვა არ წარმოადგენს დიდ სირთულეს. საჭიროების შემთხვევაში, გათხევადებული აირი რეგაზიფიკაციის შემდეგ მიეწოდება სადგურს. ასეთი სქემით შესაძლებელია მიღწეულ იქნეს ეკოლოგიური სიტუაციის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება.

გარემოში CO₂-ის გამოტყორცნილი რაოდენობის კუთრი სიდიდე ასევე დამოკიდებულია სათბობის სახეობასა და ტექნოლოგიის ეფექტურობაზე. თბოელექტროსადგურებში CO₂ -ის სრული უტილიზაცია შესაძლებელია თანამედროვე, აპრობირებული ტექნოლოგიების გამოყენებით. მაგრამ ეს გამოიწვევს თესვების მქ კოეფიციენტის მნიშვნელოვან შემცირებას, კერძოდ, ბუნებრივ აირზე მომუშავე თესვისათვის მქ კოეფიციენტი შემცირდება - $\Delta\eta_{კეს} \cong 6.5\%$ -ით.

ყოველივე აღნიშნულიდან გამომდინარეობს, რომ ბუნებრივი აირი ყველაზე ეკოლოგიურად სუფთა სათბობის სახეობაა და ამიტომ მიზანშეწონილია ისეთი გადაწყვეტილების მიღება, რომ საქართველოს თბოელექტროსადგურები (არსებული და ახალი) ფუნქციონირებდეს მხოლოდ ბუნებრივ აირზე; მით უმეტეს, რომ საქართველო, 30 ÷ 50 - წლიანი პერსპექტივით, იაფი ბუნებრივი აირის ზონაში იმყოფება. უპრიანია აგრეთვე ადგილობრივი ნახშირის (ტყიბული-შაორის საბადო) გაზიფიკაცია და ატდ-ებში გამოყენება.

2001 წლის 27 ნოემბრიდან დაკანონდა დირექტივა, ეუთ-ში შემაჯავლი 15 ქვეყნისათვის, რომელშიც წარმოდგენილია ატმოსფერული ჰაერში ძირითადი მავნე ნივთიერებების მაქსიმალურად დასაშვები საერთო გამონაბოლქვების ჩამონათვალი.

ბუნებრივია, რომ ჩვენი ქვეყნის ეკოლოგიური სიტუაციის შეფასების დროს აუცილებლად უნდა იყოს დაცული ატმოსფეროში გამოტყორცნილი მავნე მინარევების დასაშვები ნორმები.

ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებული შემდეგ შრომებში

1. ჩიტაშვილი გ., გოცირიძე ვ., პაპავა ლ., მჭედლიძე ქ., ე. ფანცხავა. „მსოფლიო ენერგეტიკაში აირტურბინული და ორთქლაირული დანადგარების გამოყენების მასშტაბები და პერსპექტივები“ პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი „ინტელექტი“ 2007, №1 (27) თბილისი. გვ.24-27.
2. ვეზირიშვილი ო., ფანცხავა ე. „ენერგოეფექტიანობის გაზრდის სტრატეგია და მისი მართვის მეთოდოლოგიური საფუძვლები“ მეცნიერება და ტექნოლოგიები. 2007, №1-3. გვ.34-38.
3. პაპავა ლ., რაზმაძე მ., კეჟერაძე ნ., მჭედლიძე ქ., ფანცხავა ე. „ატმოსფეროში გამოტოვნილი მანე მინარევების დასაშვები ნორმები“ სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერგია“ 2007, №1 (41). გვ.44-49.
4. Читашвили Г., Мchedlidze К., Панцхава Е. „Расчет экономии топлива в энергосистеме с паротурбинными ТЭЦ“ სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერგია“ 2009, №2 (50)-2. გვ.8-13.
5. მჭედლიძე ქ. „ორთქტურბინული კოგენერაციული სადგურების ენერგოეფექტურობის გამოკვლევა პროპორციული მეთოდით“ ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. ა. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. ქუთაისი; შრომათა კრებული. 21-22 მაისი, 2010. გვ. 41-44.
6. ჩიტაშვილი გ., მჭედლიძე ქ. „კოგენერაციულ სისტემებში რთული სქემების აირტურბინული დანადგარების გამოყენების შესახებ“ სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერგია.“ 2011, №1(57) გვ.5-9.
7. მჭედლიძე ქ. “მცირე სიმძლავრის დიზელის ნარჩენი სითბოს უტილიზაციის შესაძლებლობის გაანგარიშება“. ჟურნალი „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი.“ 2012, №4. გვ. 79-81.

დასკვნა

1. გაანალიზებულია მსოფლიოში კოგენერაციის განვითარების ძირითადი ეტაპები, მისი ენერგოეკონომიური და ეკოლოგიური უპირატესობანი. აღნიშნულია, რომ ამჟამად კოგენერაცია ვითარდება ძირითადად აირტურბინული და ორთქლაირული ტექნოლოგიების ბაზაზე. მსოფლიო გამოცდილებაზე დაყრდნობით ხაზგასმულია, რომ

კოგენერაციის ინტენსიურ განვითარებას სჭირდება გარკვეული პირობები, ხელშემწყობი პოლიტიკური სტრატეგია და საკანონმდებლო ბაზა. კოგენერაციის განვითარებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მიღებული ეკონომიკური მოგების სამართლიან განაწილებას გამომუშავებულ სითბოსა და ელექტროენერგიას შორის. ამჟამად ეს განაწილება უმეტეს ქვეყნებში წარმოებს ე.წ. პროპორციული მეთოდით საქართველოში, ყველა პირობა არსებობს კოგენერაციის ფართომასშტაბიანი დანერგვისათვის. ამისათვის მას უნდა მიენიჭოს სახელმწიფოებრივი პრიორიტეტი და მოიზიდოს საჭირო ინვესტიციები. კოგენერაცია ხელს შეუწყობს ენერგოკრიზისის დაძლევას ქვეყანაში.

2. დამუშავებულია აირტურბინული თეცების ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების გაანგარიშების ახალი - „პროპორციული“ მეთოდი. დადგენილია, რომ ამ მეთოდით გათვლილ მაჩვენებლებზე ძირითადად გავლენას ახდენს აირტურბინული დანადგარის და ჩასანაცვლებელი კესისა და საქვების მქოვეფიცენტებები. ნაჩვენებია, რომ პროპორციული მეთოდის გამოყენებისას სათბობის ეკონომია ნაწილდება აირტურბინულ თეცში გამომუშავებულ ორი სახის ენერგიას (სითბო და ელექტროენერგია) შორის. შედარებულია პროპორციული და ფიზიკური მეთოდებით განსაზღვრული თეცის ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლები.

3. ნორმატიული მეთოდის გამოყენებით ჩატარებულია KO ტიპის ტურბინებით აღჭურვილი ორთქლტურბინული თეცის ენერგოეფექტურობის მაჩვენებლების საანგარიშო-ანალიზური გამოკვლევა. განსაზღვრულია სათბობის კუთრი ხარჯი და მისი ფარდობითი ეკონომია ენერგოწარმოების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით.

4. შესწავლილია გარდაბანში ამჟამად მოქმედი აირტურბინული დანადგარების ატდ-თეცად რეკონსტრუქციის ეფექტურობის შესაძლებლობა. დადგენილია, რომ სათბობის სეზონში ასეთი თეცის სრული მქოვეფიცენტი მიაღწევს 60%-ს. დადგენილია, რომ სათბობის ფარდობითი ეკონომიის საშუალო წლიური სიდიდე შეადგენს 33÷34%, ხოლო პირობითი სათბობის კუთრი ხარჯი ელექტროენერგიის გაცემაზე იქნება 280,6 გპ.ს/(კვტ.სთ), მისი თვითღირებულება - 4,4 ცენტი/(კვტ.სთ).

5. კოგენერაციული სისტემების თეცებში უმარტივესი სქემის აირტურბინული დანადგარის მაგივრად რთული სქემების დანადგარების

გამოყენება საშუალოდ 20÷25%-ით ზრდის სათბობის ეკონომიას ენერგოსისტემაში, თბოელექტრომომარაგების განცალკევებულ მეთოდთან შედარებით.

6. გაანალიზებულია ქ. თბილისში გლდანის რაიონში ადრე მოქმედი №44 საქვების აირტურბინულ თეცად რეკონსტრუქციის ეფექტურობა და გათვლილია თეცის ძირითადი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები.

7. მცირე სიმძლავრის A-41 ტიპის დიზელის მაგალითზე გაანალიზებულია ნარჩენი სითბოს უტილიზაციის შესაძლებლობა. დადგენილია, რომ გათბობის სისტემაში ამ დიზელის გამოყენებისას შესაძლებელი იქნება 800 მ² ფართობის შენობის გათბობით უზრუნველყოფა.

8. ქვაბ-უტილიზატორიან ორთქლაირულ სათბობის სითბოს გამოყენების ხარისხი (სრული მქ კოეფიციენტი) მაღალია და სხვადასხვა პირობებში 75...90%-ს შეადგენს. მაღალეკონომიური ატდების გამოყენებისას აოტდ-თეცში სათბობის კუთრი ხარჯი ელექტროენერგიის გამომუშავებაზე მინიმალურია – 160...180 კვ.ს/(კვტ.სთ). სხვა ტიპის კოგენერაციულ სადგურებთან შედარებით, ელექტროენერგიის კუთრი გამომუშავება თბური მოხმარების ბაზაზე (პარამეტრი ω) ყველაზე მაღალია და 2,0...2,3-ს აღწევს. შესაბამისად ყველაზე მეტია სათბობის ფარდობითი ეკონომია ენერგოსისტემაში -0,35...0,47%.

ABSTRACT

Examination of cogeneration methods of heat and electricity generation in Georgia on the basis of high-effective power plants

Cogeneration is the highest form of heating and electricity supply. It is considered as one of the most important strategic directions of rational use of heating and power resources. Cogeneration shall provide important savings of organic fuel, financial and labour resources, shall support improvement of environmental situation in towns and industrial centers. In the conditions of steady rising of fuel in price, role of cogeneration shall gradually increase much more.

Improvement of combined generation (cogeneration) systems of electricity and heating energies is paid great attention all over the world. Fair distribution of economic profit obtained through cogeneration, between generated heat and electricity

is significant. The distribution currently takes place in many countries in accordance with so called proportional method that considers division of all charges in heat and power plant through separate methodology in proportion with any relevant charges between two energies at generation of heat and electricity (in boiler house and condensate power house).

Major stages of the development of cogeneration, its power-economic and ecological advantages all over the world have been analyzed in the work. It has been specified that cogeneration currently is developed on the basis of gas-turbine and gas-vapor technologies. Data about scopes and perspectives of using gas-turbine and gas-vapor facilities in the power engineering of the well-developed and developing countries of the world has been specified. Gas-turbine and gas-vapor installations are characterized by high thermal effectiveness, minimal specific value, good environmental properties, quick redemption of investments, efficiency of usage in cogeneration and etc.

The design-analytic examination of the showings of power efficiency of gas-vapor heat and power plant equipped with KO type turbines has been carried out by using of normative method. Specific flow of fuel and its relative savings to compare with the separate method of power generation has been determined.

The fact that the showings of power efficiency of heat and power plants calculated by "Proportional" method is influenced by efficiency factor of gas-turbine installation, difference between exit gases and outdoor temperature as well as condensing power plant and boiler house efficiency factors, have been specified in the work.

The issue of using complicated scheme gas-turbine installations in cogeneration system has been reviewed. It has been known that the simplest scheme gas-turbine installations are used in gas-turbine heat and power plants currently. They are quite cheap and power effective. According to examinations of scientists of the different countries, it has been ascertained that the usage of complicated scheme gas-turbine installations in heat and power plants shall provide clear, more thermodynamic effect. Efficiency of two type gas-turbine heat and power plant has been analyzed basing upon the previously developed methodology: when the gas-turbine installation of the simplest scheme is used and the second: when the installation of complicated scheme is used with air intercooling, regeneration and intermediate supply of heat. Relative saving of fuel that is reached by functioning of gas-turbine heat and power plant in energy system to compare with the separate methodology of heat power supply has been adopted as the major criteria of comparison. Fuel economy on the second case shall be 20÷25% more to compare with the first version.

Efficiency of presumable reconstruction of gas-turbine installations currently operated in Gardabani, into gas-turbine installation-heat and power plant has been examined in the work, possibility of the remainder heat utilization on the example of small-capacity A-41 diesel has been analyzed as well.

Some high power gas-turbine heat and power plant that shall significantly increase yearly output of electricity in energy system can be made at the territories of former boiler houses in Georgia. Combined generation of heat and electricity shall provide savings of more than 1 billion cubic meter natural gas of 80 million USD. Self-cost of electricity generation shall be the least 2...2,5 cent (kwt/hr). Construction of the above heat and power plants shall be 2-times cheap than the construction of gas-vapor heat and power plant of the same capacity. Exploitation of gas-turbine heat and power plants shall be especially effective in autumn and winter when the peaks of electricity and thermal loads take place simultaneously.

Efficiency of reconstruction of the previously operated # 44 boiler house in Gldani, Tbilisi into gas-turbine heat and power plant has been analyzed and the major technical-economic showings have been determined.

Binary steamer-utilizer heating gas-vapor plants are distinguished by maximal generation of electricity on the basis of thermal consumption and are the most perspective for heat and power plants. It has been established that power efficiency of steamer-utilized gas-vapor heat and power plant is mainly depended on the efficiency factor of gas-turbine plant and the showings of heating gas-vapor turbine power efficiency. Specific generation of electricity if gas-turbine installation heat and power plant is the highest on the basis of thermal consumption and reaches to 2,0...2,3. Accordingly, relative savings of fuel is the most of all in energy system (35...47%). The present index is significantly depended to the efficiency factor of the sectional boiler house to be replaced and condense power plant.